

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА НАХОЖДЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДУГ ПРИ ИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ В МНОГОЭЛЕКТРОДНЫХ ДУГОВЫХ ПЕЧАХ

Хромых Ю.Ю., Костылева Е.М., Ячиков И.М.

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»,
г. Магнитогорск, Россия

Показаны алгоритм и программное обеспечение для нахождения положения двух электрических дуг при их электромагнитном взаимодействии. Рассмотрены основные этапы разработки программного обеспечения: постановка задачи, разработка технического задания, алгоритмического обеспечения, проектирование и реализация программного средства.

Актуальность работы

Одним из основных путей повышения эффективности работы современных металлургических агрегатов являются разработка теории технологических процессов, методов управления ими, а также создание соответствующего математического, алгоритмического и программного обеспечения. В работе проведен процесс информатизации расчета для нахождения формы оси электрической дуги.

Цели и задачи работы

Целью работы является создание программного продукта, реализующего математическую модель, описывающую форму двух дуг, горящих между двумя соосными электродами и токопроводящей поверхностью.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- изучить методику расчета, позволяющего находить форму оси электрической дуги при электромагнитном силовом взаимодействии двух вертикальных дуг постоянного тока;
- составить расчетную модель в среде *MathCad*;
- программно реализовать решение задачи с использованием современной среды разработки.

Результаты реализации решения задачи

Первый этап разработки – функциональное моделирование системы с дальнейшей разработкой архитектуры приложения. Каждая диаграмма функциональной модели разделена на несколько составляющих: процессы, связанные с операциями над исходными данными, процесс расчета и процессы формирования и отображения результата. Архитектура представляет из себя схему, которая включает в себя взаимосвязанные блоки. Пользователь взаимодействует с графическим интерфейсом программы. В свою очередь, интерфейс вызывает все необходимые функции, как показано на рис. 1.

Математическая модель рассмотрена в работе [1].

Рассмотрим случай, когда токи, протекающие через дуги одинаковые $i_1 = i_2 = i$, в этом случае задача определения формы дуги $y(z)$ сводится к решению интегрально-дифференциального уравнения:

$$Q(z) + V(z) = \frac{\beta(z)}{(1 + (dy/dz)^2)^{3/2}} \left| \frac{d^2 y}{dz^2} \right|. \quad (1)$$

где

$$Q(z) = \int_0^l \frac{\left(\frac{dy(\xi)}{d\xi_*} (\xi - z) - (y(\xi) - y(z)) \right)}{\left((y(\xi) - y(z))^2 + (\xi - z)^2 \right)^{3/2}} d\xi;$$

$$V(z) = \int_0^l \frac{\left(\frac{dy(\zeta)}{d\zeta} (\zeta - z) - (y(\zeta) - y(z)) \right)}{\left((y(z) - y(\zeta) + y_0)^2 + (\zeta - z)^2 \right)^{3/2}} d\zeta; \quad \beta(z) = F(z)f^2(z),$$

Для решения краевой задачи дополним (1) начальными условиями в точке привязки дуги на катодe:

$$y|_{z=0} = a, \quad \left. \frac{dy}{dz} \right|_{z=0} = \alpha, \quad (2)$$

где α – тангенс угла наклона оси дуги, a – половина расстояния между катодами.

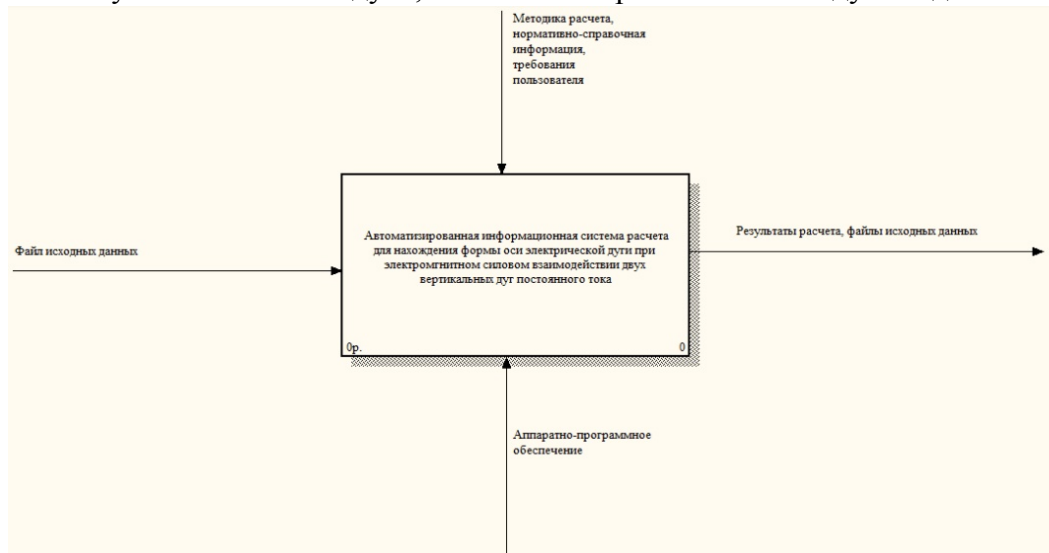


Рис. 1. Фрагмент функциональной модели

Задача сводится к нахождению функции $y(z)$, то есть имеется обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка с начальными условиями (задача Коши), при этом:

- 1) задача нелинейная, так как знаменатель правой части уравнения содержит искомое решение;
- 2) в дифференциальном уравнении имеется модуль, что затрудняет его решение.

Для решения подобных уравнений обычно используются приближенные итерационные алгоритмы, например метод Пикара. Однако, его численная реализация показала, что итерационный процесс является расходящимся.

С учетом этого, предложены алгоритмы нахождения приближенного решения. В первом приближении полагаем, что неизвестная функция имеет форму параболы $\varphi_0 = a_0 + a_1 z + a_2 z^2$. Исходя из начальных условий (2), имеем $a_0 = a$, $a_1 = \alpha$, следовательно, неизвестным остается коэффициент a_2 , который можно определить, решая нелинейное интегральное уравнение (1) относительно a_2 . Создан программный продукт, позволяющий решать это уравнение при разных значениях z на интервале $[0, l]$ с шагом Δz . Усредняя полученные значения, находим искомое значение a_2 .

Для получения более точного решения предполагаем, что искомая функция имеет вид $y(z) = a_0 + a_1 z + a_2 z^2 + a_3 z^3 + \dots$. Подлежащие нахождению коэффициенты искомого многочлена находились как минимум функций нескольких переменных

$$\varphi_1(a_2, a_3, \dots) = \int_0^l \Phi^2 dz = \min, \quad (3)$$

или

$$\varphi_2(a_2, a_3, \dots) = \int_0^l |\Phi| dz = \min, \quad (4)$$

где $\Phi = Q(z, y(z)) + V(z, y(z)) - \frac{\beta(z)}{(1 + (dy/dz)^2)^{3/2}} \left| \frac{d^2 y}{dz^2} \right|$.

В среде разработки *Mathcad 14* создан алгоритм для нахождения формы оси электрической дуги при электромагнитном силовом взаимодействии двух вертикальных дуг постоянного тока. В программе задавались исходные данные о теплофизический и электрических свойствах плазмообразующего газа, условиях теплообмена дуги с окружающей средой, а также порядок искомого полинома. Результаты работы программы представлены на рис. 2.

Следующим этапом является программная реализация с использованием современной интегрированной виртуальной среды разработки на языке *C#* – *Microsoft Visual C# Express*. При программировании использованы компоненты *NET Framework 4.0* для построения графиков *ZedGraph*. Полученный программный продукт обладает возможностями:

- ввода и корректировки данных;
- контроля над вводом данных и недопущение ввода некорректных данных;
- представления результатов расчета, полученных в среде *Mathcad 14* и *Microsoft Visual C# Express*.

В качестве контрольного примера приведено моделирование отклонения двух аргоновых дуг длиной $l = 40$ см от нормали, полурасстояние между которыми $a = 20$ см. Дуги имеют следующие параметры: ток $I = 9$ кА; радиус цилиндрической части $r_0 = 2,84$ см; количество газа прокачиваемого через дугу $\rho u = 1,16 \frac{\Gamma}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$; $r_k/r_0 = 0,378$, где r_k – радиус пятна на катоде. Результаты работы программы представлены на рис. 3. На основе проведенного моделирования выявлено, что форма оси аргоновой электрической дуги хорошо описывается полиномом третьей или четвертой степени. Получено хорошее соответствие с результатами расчетов в среде *Mathcad 14*.

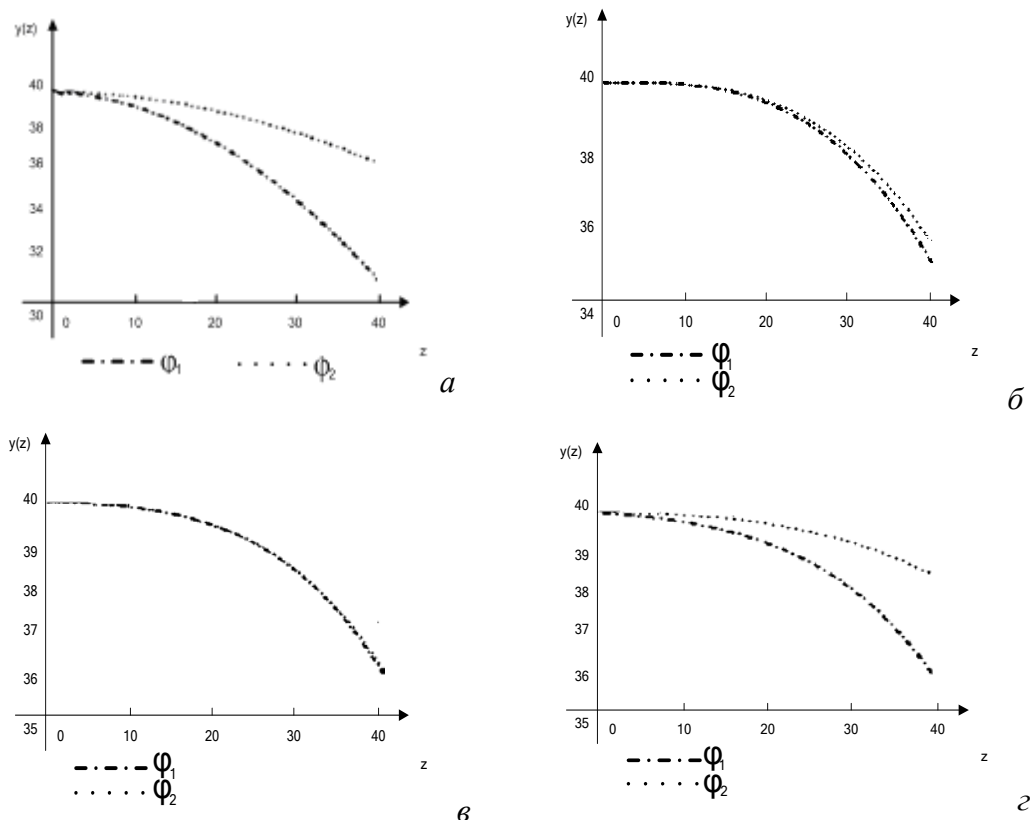


Рис. 2. Положение оси электрической дуги при использовании функций φ_1 , φ_2 для полиномов: а – второй; б – третьей; в – четвертой; г – пятой степени (расчет в *MathCad 14*)

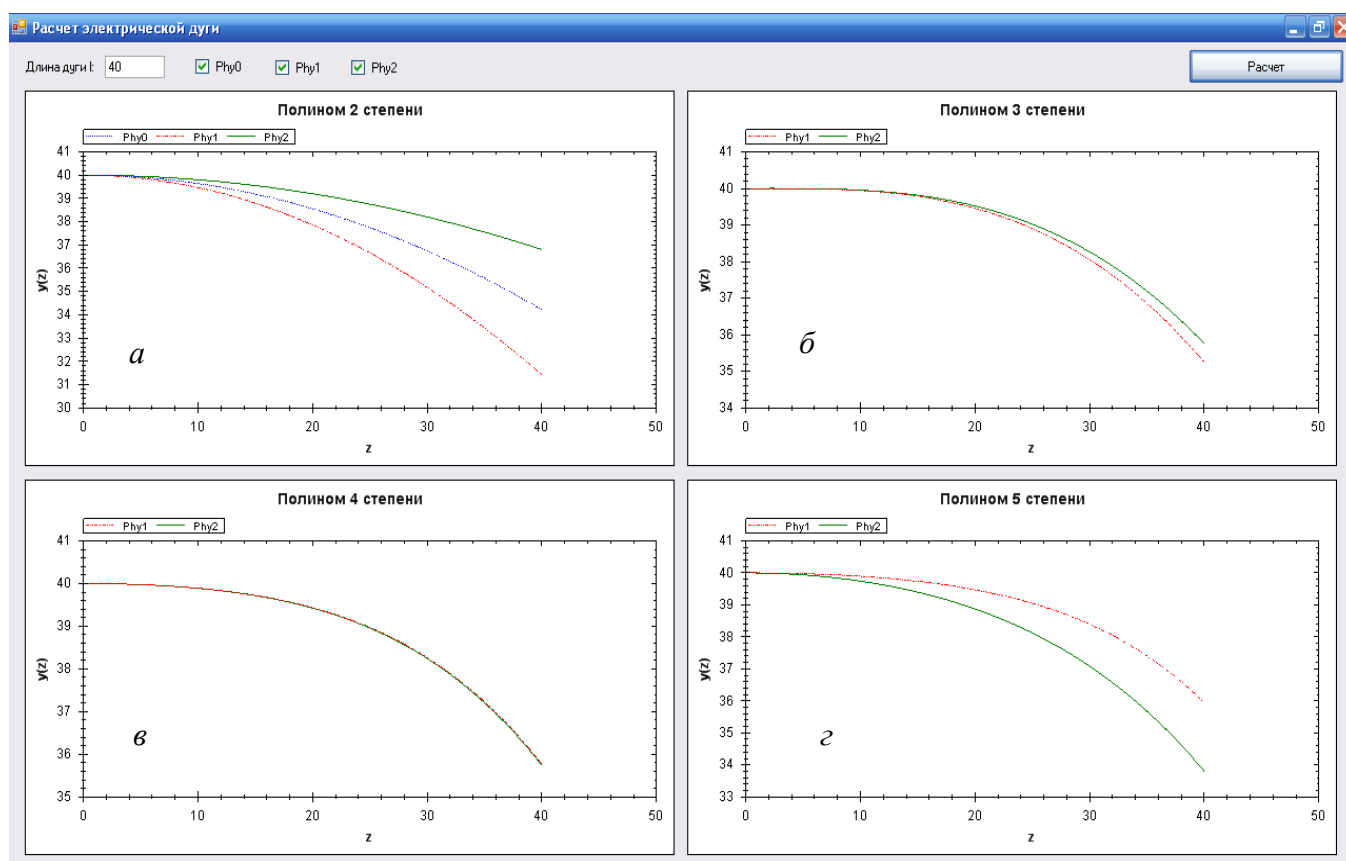


Рис. 3. Результаты расчетов в С# Express положения оси электрической дуги при использовании функций φ_1 , φ_2 для полиномов: а – второй; б – третьей; в – четвертой; г – пятой степени

Заключение

Таким образом, разработаны алгоритмы и программные средства позволяющие решить задачу нахождения формы осей электрических дуг постоянного тока при их электромагнитном силовом взаимодействии. Созданное программное обеспечение может быть полезно для автоматизации хода технологического процесса, протекающего в дуговых и плазменных печах.

Список использованных источников

1. Ячиков И.М., Костылева Е.М. Положение электрических дуг при их электромагнитном взаимодействии в многоэлектродных дуговых печах // Информационные технологии и системы: материалы Первой междунар. конф. Челябинск: изд-во Челяб. гос. ун-та, 2012. С. 36–38.
2. Хромых Ю.Ю. Теоретико-информационный анализ положения электрических дуг в многоэлектродных дуговых печах // Математическое и программное обеспечение систем в промышленных и социальных сферах: междунар. сб. науч. тр. Магнитогорск: изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 373–378.